

Japan Patent Office

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

Date of Application: December 4, 2002

Application Number: Japanese Patent Application
No.2002-352794

[ST.10/C]: [JP2002-352794]

Applicant(s): RICOH COMPANY, LTD.

December 5, 2003

Commissioner,
Japan Patent Office

Yasuo Imai (Seal)

Certificate No.2003-3100669

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 1 2 月 4 日
Date of Application:

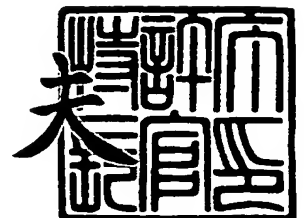
出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 3 5 2 7 9 4
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 2 - 3 5 2 7 9 4]

出 願 人 株 式 会 社 リ コ ー
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 2 月 5 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 1 0 0 6 6 9

【書類名】 特許願

【整理番号】 0208897

【提出日】 平成14年12月 4日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 05/343

【発明の名称】 半導体発光素子および光送信モジュールおよび光送受信
モジュールおよび光通信システム

【請求項の数】 7

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社 リコー
 内

 【氏名】 佐藤 俊一

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社 リコー
 内

 【氏名】 高橋 孝志

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社 リコー
 内

 【氏名】 上西 盛聖

【特許出願人】

 【識別番号】 000006747

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

 【氏名又は名称】 株式会社 リコー

 【代表者】 桜井 正光

【代理人】

【識別番号】 100090240

【住所又は居所】 神奈川県横浜市西区浅間町 1 丁目 5 番 1 号 インテンシ
ョン横浜 6 0 1 号

【弁理士】

【氏名又は名称】 植本 雅治

【電話番号】 045-316-1042

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009793

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9808722

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体発光素子および光送信モジュールおよび光受信モジュールおよび光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項1】 GaAs 基板に対して圧縮歪を持つ窒素（N）と他のV族元素を同時に含んだ量子井戸活性層とその周囲に形成された障壁層とからなる活性層を有する半導体発光素子において、前記障壁層は、量子井戸活性層と同様に窒素（N）と他のV族元素を同時に含んでいるが、N組成が量子井戸活性層よりも小さいIII-V族混晶半導体で形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】 請求項1記載の半導体発光素子において、前記障壁層は、窒素（N）と他のV族元素と同時に、燐（P）も含むことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項3】 請求項1記載の半導体発光素子において、前記障壁層は、GaNA s、GaNPAs、GaInNA s、GaInNPAs、GaNA sSb、GaNPAsSb、GaInNA sSb、GaInNPAsSbのいずれか1つであることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項4】 請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、半導体発光素子は面発光型半導体レーザ素子であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項5】 請求項4記載の半導体発光素子が光源として用いられていることを特徴とする光送信モジュール。

【請求項6】 請求項4記載の半導体発光素子が光源として用いられていることを特徴とする光受信モジュール。

【請求項7】 請求項4記載の半導体発光素子が光源として用いられていることを特徴とする光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体発光素子および光送信モジュールおよび光送受信モジュールおよび光通信システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、インターネットの爆発的普及に見られるように、扱われる情報量が飛躍的に増大しており、今後さらに加速すると考えられる。このため、幹線系のみならず、各家庭やオフィスといった加入者系やLAN (Local Area Network) などのユーザーに近い伝送路、さらには各機器間や機器内の配線へも光ファイバーが導入され、光による大容量情報伝送技術が極めて重要となる。

【0003】

このような光源として、シリカファイバーの伝送ロスが小さく、整合性が良い1.3 μm 帯、1.55 μm 帯の半導体レーザが必要であり、ユーザーに近い領域で普及させるためには、低コスト通信システムであることが絶対条件である。

【0004】

1.3 μm 帯、1.55 μm 帯の波長帯では、InP基板上の材料系が一般的であり、端面発光型レーザでは実績がある。しかし、この従来の長波長帯半導体レーザでは、環境温度が室温から80℃になると、動作電流が3倍にも増加するという大きな欠点を持っている。従って、冷却素子を使わない低コストシステムを実現するために、温度特性の良好な長波長帯半導体レーザの開発が極めて重要である。温度特性が悪い主な理由は伝導帯バンド不連続が小さいために電子がオーバーフローし易く、これの温度依存性が大きいためである。

【0005】

最近、GaAs基板上に1.3 μm 帯の半導体レーザを形成できる材料系が注目され、(Ga)InAs量子ドット、GaAsSbやGaInNAs (例えば、特許文献1参照。)が研究されている。特にGaInNAsは、レーザ特性の温度依存性を極めて小さくすることができる材料として注目されている。なお、GaInNAs系材料とは、P, Sb, Al等の他のIII-V族元素を含んでいる場合もある。

【0006】

GaInNAsは、窒素(N)と他のV族元素を含んだIII-V族混晶半導体である。すなわち、GaInNAsは、GaAsより格子定数大きいGaInAsに窒素(N)を添加することで格子定数をGaAsに格子整合させることが可能であり、更にバンドギャップエネルギーが小さくなり、 $1.3\mu\text{m}$ 、 $1.55\mu\text{m}$ 帯での発光が可能な材料である。

【0007】

例えば非特許文献1では、近藤らにより、GaInNAsのバンドラインナップが計算されている。GaInNAsは、窒素(N)の添加によりバンドギャップエネルギーが小さくなるが、伝導帯と価電子帯ともにエネルギーが下がり、GaInP、AlGaAs、GaAs等のGaAs格子整合系材料に対して伝導帯のバンド不連続が極めて大きくなり、このため、高特性温度半導体レーザが実現できると予想されている。実際に、In組成10%のとき窒素組成は約3%で $1.3\mu\text{m}$ 帯を形成できるが、窒素組成が大きいほどしきい値電流密度が急激に上昇するという問題がある。図1は、本願の発明者が実験的に求めたしきい値電流密度の窒素組成依存性を示す図であり、横軸は窒素組成割合(%)を示し、縦軸はしきい値電流密度を示している。図1に示すようにしきい値電流密度が窒素組成増加に伴って急激に上昇する理由は、GaInNAs層の結晶性が窒素組成増加に伴い劣化するためである。このため、In組成を大きくして窒素組成を少なくする方法が取られており(例えば特許文献2, 特許文献3参照。)、基板に対して2%程度以上と大きな圧縮歪を有したGaInNAs系量子井戸活性層が用いられている。これにより、半導体レーザのしきい値電流密度が $1\text{kA}/\text{cm}^2$ 以下の低い値であって、かつ、環境温度が室温から 80°C になっても動作電流がわずかに1.3倍にしか増加せず、特性温度が 200K を越える良好なレーザが報告されている(例えば非特許文献2参照。)。なお、障壁層にはGaAs層が用いられている。圧縮歪みを有するGaInNAs系量子井戸活性層を用いた場合、障壁層にはGaAsが良く用いられている。また、Nを含まない高歪みGaInAs量子井戸活性層を用いて $140\text{K}\sim 170\text{K}$ と良好な温度特性の報告がある(例えば非特許文献3参照)。障壁層にはGaAsが用いられている。

【0008】

しかし、このように大きな圧縮歪を有している場合、二次元成長から三次元成長に変わる実質的な臨界膜厚に近い厚さを成長させる必要があり、このための工夫が必要である。従来では、低温成長法（例えば特許文献2参照。）や、Sbを添加しサーファクタント的な効果を得る方法（例えば特許文献3参照。）が提案されているが、結晶欠陥の発生を抑えるために量子井戸数の制限があるなど、デバイス設計の制限が生じる。

【0009】

これを改善する方法として、基板より格子定数が小さくNを含んだGa_{1-d}In_{1-d}N_ePfAs_{1-e-f}系材料（例えば特許文献4参照。）、GaNPAsまたはGaNA_s層（例えば特許文献5参照。）、GaNA_s層（例えば特許文献3参照。）、GaNA_sSb（例えば非特許文献4参照。）を障壁層として、活性層の歪を低減（補償）する歪補償構造が提案されている。具体的なN組成としては、特許文献2ではGaInNA_sSb井戸層0.9%とGaNA_s障壁層1.8%の組み合わせとなっており、また、非特許文献4ではGaInNA_sSb井戸層1.7%とGaNA_sSb障壁層2%の組み合わせとなっており、また、特許文献5ではGaInNA_s井戸層、GaNA_s障壁層とも2%となっており、障壁層のN組成の方が大きい井戸層と同じになっている。

【0010】

障壁層にNを添加した材料を用いる理由としては、特許文献4では、歪補償層を形成し活性層の歪みを低減するため、及び、井戸層と障壁層の界面の制御を容易に行うためと述べられている。また、特許文献5では、歪補償層を形成し活性層の歪みを低減するためと述べられている。また、特許文献3では、伝導帯バンド不連続を小さくして量子準位を下げて長波長化させるため、及び井戸層と障壁層の両方にNが添加されているとホモエピタキシャルに近づくので結晶性が向上するためと述べられている。

【0011】

GaAsに対してNを添加すると格子定数が小さくなる。また、GaNA_sはGaInNA_s系量子井戸活性層との伝導帯バンド不連続が小さくなり量子準位

エネルギーが下がるので、発振波長を長波長化する効果がある。よって、量子井戸活性層において必要な波長を得るためのN組成を低減することができ、活性層の品質を向上させることができる。しかしながら、同じ理由（GaInNAs系量子井戸層との伝導帯バンド不連続が小さくなる。）で、電子のオーバーフローが増え、温度特性が悪くなるという欠点がある。

【0 0 1 2】

【特許文献 1】

特開平 6 - 3 7 3 5 5 号公報

【0 0 1 3】

【非特許文献 1】

Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35 (1996) pp. 1273-1275

【0 0 1 4】

【特許文献 2】

特開 2 0 0 0 - 3 3 2 3 6 3 号公報

【0 0 1 5】

【特許文献 3】

特開 2 0 0 2 - 1 1 8 3 2 9 号公報

【0 0 1 6】

【非特許文献 2】

Jpn. J. Appl. Pyys. Vol. 39 (2000) pp. 3403-3405

【0 0 1 7】

【非特許文献 3】

IEEE Photon. Technol. Lett. Vol. 12 (2000) pp. 125-127

【0 0 1 8】

【特許文献 4】

特開平 1 0 - 1 2 6 0 0 4 号公報

【0 0 1 9】

【特許文献 5】

特開平 1 0 - 1 4 5 0 0 3 号公報

【 0 0 2 0 】

【非特許文献 4】

Electron. Lett. Vol.38, (2002) pp277-278

【 0 0 2 1 】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、GaInNAs系量子井戸活性層を用いた半導体発光素子において、温度特性が良く低しきい値である半導体発光素子および光送信モジュールおよび光送受信モジュールおよび光通信システムを提供することを目的としている。

【 0 0 2 2 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、請求項 1 記載の発明は、GaAs 基板に対して圧縮歪を持つ窒素（N）と他の V 族元素を同時に含んだ量子井戸活性層とその周囲に形成された障壁層とからなる活性層を有する半導体発光素子において、前記障壁層は、量子井戸活性層と同様に窒素（N）と他の V 族元素を同時に含んでいるが、N 組成が量子井戸活性層よりも小さい III-V 族混晶半導体で形成されていることを特徴としている。

【 0 0 2 3 】

また、請求項 2 記載の発明は、請求項 1 記載の半導体発光素子において、前記障壁層は、窒素（N）と他の V 族元素と同時に、燐（P）も含むことを特徴としている。

【 0 0 2 4 】

また、請求項 3 記載の発明は、請求項 1 記載の半導体発光素子において、前記障壁層は、GaNA s、GaNPAs、GaInNA s、GaInNPAs、GaNA s Sb、GaNPAs Sb、GaInNA s Sb、GaInNPAs Sb のいずれか 1 つであることを特徴としている。

【 0 0 2 5 】

また、請求項 4 記載の発明は、請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、半導体発光素子は面発光型半導体レーザ素子であることを特徴としている。

【 0 0 2 6 】

また、請求項 5 記載の発明は、請求項 4 記載の半導体発光素子が光源として用いられていることを特徴とする光送信モジュールである。

【 0 0 2 7 】

また、請求項 6 記載の発明は、請求項 4 記載の半導体発光素子が光源として用いられていることを特徴とする光送受信モジュールである。

【 0 0 2 8 】

また、請求項 7 記載の発明は、請求項 4 記載の半導体発光素子が光源として用いられていることを特徴とする光通信システムである。

【 0 0 2 9 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態を説明する。

【 0 0 3 0 】

(第 1 の実施形態)

本発明の第 1 の実施形態は、GaAs 基板に対して圧縮歪を持つ窒素 (N) と他の V 族元素を同時に含んだ量子井戸活性層とその周囲に形成された障壁層とからなる活性層を有する半導体発光素子において、前記障壁層は、量子井戸活性層と同様に窒素 (N) と他の V 族元素を同時に含んでいるが、N 組成が量子井戸活性層よりも小さい III-V 族混晶半導体で形成されていることを特徴としている。

【 0 0 3 1 】

GaAs に対して N を 1 % 添加した材料では、バンドギャップは 1 5 6 m e V 小さくなり、かつ、伝導帯は 1 7 5 m e V 下がり、価電子帯は 1 9 m e V 下がる (Kitatani 等による文献「16th Semiconductor Laser Symposium」を参照)。このようにわずかの N 組成で伝導帯が大きく低下することがわかる。また、閃亜鉛構造の GaN の格子定数は 4 . 5 オングストロームであるので、GaAs に対して N 1 % 当たり 0 . 2 0 4 % の引張り歪みとなる。

【 0 0 3 2 】

まず、本発明では、障壁層にNを添加したことにより、次の効果は維持される。すなわち、障壁層と量子井戸活性層との間で良好な界面が得られる。具体的に、GaInNAs系材料をMOCVD法で成長する場合は、Nの原料の供給量はAsの原料の供給量に対してモル比（「N原料」／（「N原料」＋「As原料」））が0.9を超えるほど大きくしなければならず、Nの原料は多量に供給する必要がある、原料供給のON，OFF時の制御性、つまり界面の制御性を良くすることは難しい。また、MBE法で成長する場合は、N原料をRF等で活性化させて供給するため、ON，OFFを急峻に行うことは容易ではなく、MOCVD法と同様に、界面の制御性を良くすることは難しい。しかしながら、障壁層にもNが添加された構造であると、この界面で原料供給のON，OFFの必要がなく、良好な界面を制御して得ることが容易となる。

【0033】

また、障壁層にNを添加することで、GaAsに対して引張り歪み層とすることができ、圧縮歪み量子井戸活性層を用いた場合に、歪補償構造を形成可能であり、歪みの低減効果により、素子の信頼性が向上する。

【0034】

さらに、本発明では、障壁層のN組成が井戸層よりも小さいことによって、更なる効果が得られる。つまり、障壁層にNを添加しない場合と同様に良好な温度特性が得られる。障壁層のN組成を量子井戸活性層よりも大きくすると、障壁層の伝導帯エネルギーの低下の方が大きくなり、量子井戸活性層、障壁層ともにNを含まない材料で形成した場合に比べて、伝導帯バンド不連続が小さくなってしまい、半導体レーザの温度特性が悪くなる。ここで、比較として用いた量子井戸活性層、障壁層ともにNを含まない材料としては、例えば井戸層としてGaInAs、障壁層としてGaAsの組み合わせがあり、例えば文献「IEEE Photon. Technol. Lett. Vol.12 (2000) pp.125-127」に示されているように140K～170Kと良好な温度特性が得られており、十分な伝導帯バンド不連続となっている。一方、障壁層のN組成が量子井戸活性層のN組成よりも小さい場合は、量子井戸活性層の伝導帯エネルギーの低下の方が大きいので、充分大きな伝導帯バンド不連続を得ることができ、温度特性の良好な半導体レーザを得ることができる。

。また、エピタキシャル成長では下地の結晶品質が成長層の成長品質に及ぼす影響は大きい。障壁層のN組成が量子井戸活性層のN組成よりも小さい場合、量子井戸活性層成長時の下地層となる障壁層の結晶性が向上する。よって、量子井戸活性層の結晶性が向上する。

【0035】

(第2の実施形態)

本発明の第2の実施形態の半導体発光素子は、上述した第1の実施形態の半導体発光素子において、前記障壁層は、Nと他のV族元素と同時に、燐(P)も含むことを特徴としている。

【0036】

GaAsに対して引張り歪みを有する材料としては、GaAsに対して少なくともNまたはPの一方を添加した材料が挙げられる。第1の実施形態では、障壁層のN組成を井戸層よりも小さくしているため、障壁層の引張り歪み量には制限が生じる。第2の実施形態のようにPを添加することで、引張り歪み量を調整できるようになる。よって、歪補償構造の最適化ができるので、井戸数の数を増加できるようになり、デバイス設計の自由度が高くなる。更には信頼性の改善が得られるようになる。

【0037】

更に、Pの添加は伝導帯エネルギーを高くする効果があり、Nの添加で低下した伝導帯エネルギーを補償して、井戸層との伝導帯バンド不連続を十分なものとし、電子の閉じ込めを良好なものにすることができる。

【0038】

具体的に、GaAsに対してPを1%添加した材料では、バンドギャップは11.7meV程度大きくなる。伝導帯は7meV上がり、価電子帯は4.7meV下がる(A.G.Thompson等による文献「Pys.Rev.146(1966) p601」、Su-Huai Wei等による文献「Appl. Pyys.Lett.Vol.72 (1998) p2011」などを参照)。また、GaAs、GaPの格子定数は、それぞれ、5.65325オングストローム、5.4495オングストロームであるため、GaAsに対してP1%当たり0.0360%の引張り歪みとなる。

【0039】

上述した第1（さらには第2）の実施形態の半導体発光素子において、障壁層は、具体的には、GaNA s、GaNPAs、GaInNA s、GaInNPAs、GaNA s Sb、GaNPAs Sb、GaInNA s Sb、あるいは、GaInNPAs Sbなどにより形成されている。

【0040】

また、上述した第1あるいは第2の実施形態の半導体発光素子は、具体的には、例えば面発光型半導体レーザ素子（VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser: 垂直キャビティ面発光型半導体レーザ素子）である。

【0041】

安価で距離を気にしないで、光ネットワーク、光配線の大容量化を図るためには、光源としてシリカファイバーの伝送ロスが小さく整合性が良い $1.3\mu\text{m}$ 帯、 $1.55\mu\text{m}$ 帯の半導体レーザであって、温度特性が良く冷却素子を使用しない半導体レーザが必要であり、このような半導体レーザには面発光型半導体レーザ素子（VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser: 垂直キャビティ面発光型半導体レーザ素子）が極めて有望である。面発光型半導体レーザ素子（面発光レーザ）は、端面発光型レーザに比べて、低価格化、低消費電力化、小型化、2次元集積化に向き、実際に、GaAs基板上に形成できる $0.85\mu\text{m}$ 帯ではすでに高速LANである1Gbit/秒のイーサネットなどで実用化されている。すなわち、面発光型半導体レーザ素子（面発光レーザ）において、GaInNA s系材料を活性層にすることで、これらの波長に対応できる。

【0042】

また、面発光レーザは、端面発光型レーザと比べて、共振器長が極端に短く、利得領域が小さいので、大きな活性層利得を必要とする。素子の特性を良好にするためには、量子井戸活性層の数を複数にして、利得を増加させる必要がある。本発明のように歪補償構造（障壁層）が設けられることで、活性層の数を増やすことができ、低しきい値電流動作し、高出力であり、温度特性が良い面発光レーザを実現できる。なお、MOCVD法で形成すると面発光レーザの半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗を低減できるので、低電圧駆動が可能となり好ましい。

【0043】

このような本発明の面発光レーザは、光送信モジュールの光源として用いることができる。

【0044】

上述したような低抵抗で駆動電圧が低く、低しきい値電流動作し、温度特性が良い面発光型半導体レーザ素子（面発光レーザ）を用いることによって、冷却素子が不要な低コストな光送信モジュールを実現することができる。

【0045】

また、本発明の面発光レーザは、光送受信モジュールの光源として用いることもできる。

【0046】

上述したような低抵抗で駆動電圧が低く、低しきい値電流動作し、温度特性が良い面発光型半導体レーザ素子（面発光レーザ）を用いることによって、冷却素子が不要な低コストな光送受信モジュールを実現することができる。

【0047】

また、本発明の面発光レーザは、光通信システムの光源として用いることもできる。

【0048】

上述したような低抵抗で駆動電圧が低く、低しきい値電流動作し、温度特性が良い面発光型半導体レーザ素子（面発光レーザ）を用いることによって、冷却素子不要な低コストな光ファイバー通信システム、光インターコネクションシステムなどの光通信システムを実現することができる。

【0049】**【実施例】**

次に、本発明の実施例を、図面を用いて詳細に説明する。

【0050】**（第1の実施例）**

図2は本発明の第1の実施例のGaInNAs端面発光型半導体レーザを示す図である。なお、図2の例では、リッジストライプ型レーザとなっている。また

、図2のGaInNAs端面発光型半導体レーザは、層構造としてはSCH-SQW(Separate Confinement Heterostructure Single Quantum Well)構造である。

【0051】

図2の例では、面方位(100)のn-GaAs基板の上に、Seドープn-GaAsバッファ層、Seドープn-AlGaAs下部クラッド層、アンドープGaAs下部光ガイド層、活性層、アンドープGaAs上部光ガイド層、Znドープp-AlGaAs上部クラッド層、Znドープp-GaAsコンタクト層が順次成長されている。

【0052】

ここで、活性層は、圧縮歪みを有する2層のGaInNAs量子井戸活性層(井戸層)と、その上下に形成された引張り歪みを有する3層のGaNAs障壁層(バリア層)とからなっている。井戸層のIn組成xは33%、窒素組成は1.0%とした。また、井戸層の厚さは7nmとした。また、障壁層のN組成は0.8%とした。成長方法はMOCVD法で行った。キャリアガスには、H₂を用いた。また、原料には、TMG(トリメチルガリウム)、TMI(トリメチルインジウム)、AsH₃(アルシン)、PH₃(フォスフィン)を用い、そして窒素の原料には、DMHy(ジメチルヒドラジン)を用いた。DMHyは低温で分解するので、600℃以下のような低温成長に適している。この第1の実施例では、GaInNAs層を550℃で成長した。特に歪みの大きい量子井戸層を成長する場合は例えば500℃~600℃程度の低温成長が好ましい。GaNAs障壁層もGaInNAs層と同じ550℃で成長した。

【0053】

そして、フォトリソグラフィとエッチング技術により幅3μmのストライプ領域以外をp-AlGaAs層の途中まで除去し、リッジ構造を形成した。そして、このリッジ構造上に、p側電極を、電流注入部となる部分を除去した絶縁膜を介して形成した。また、基板の裏面には、n側電極を形成した。

【0054】

この第1の実施例の素子では、障壁層のN組成を量子井戸活性層よりも小さく

しているので、N添加による伝導帯エネルギーの低下は量子井戸活性層の伝導帯エネルギーの方が障壁層よりも大きくなり、これにより、充分大きな伝導帯バンド不連続を得ることができ、温度特性の良好な半導体レーザを得ることができる。

【0055】

また、エピタキシャル成長では、下地の結晶品質が成長層の成長品質に及ぼす影響は大きい。障壁層のN組成が量子井戸活性層のN組成よりも小さい場合、量子井戸活性層成長時の下地層となる障壁層の結晶性が向上することになり、量子井戸活性層の結晶性が向上し、発光効率が高く、低しきい値電流で動作した。

【0056】

なお、障壁層と量子井戸活性層の界面の結晶性は重要である。GaInNAs系材料をMOCVD法で成長する場合は、Nの原料の供給量は、Asの原料の供給量に対して、モル比（「N原料」／（「N原料」＋「As原料」））が0.9を超えるほど大きくしなければならず、Nの原料は多量に供給する必要がある、原料供給のON，OFF時の制御性、つまり界面の制御性を良くすることは難しい。また、MBE法で成長する場合は、N原料をRF等で活性化させて供給するため、ON，OFFを急峻に行うことは容易ではなく、MOCVD法と同様に界面の制御性を良くすることは難しい。しかしながら、この第1の実施例のように障壁層にもNが添加された構造であると、この界面で原料供給のON，OFFの必要がなく、良好な界面を制御して得ることが容易となる。

【0057】

更に、この第1の実施例では、GaAs光ガイド層とGaInNAs量子井戸活性層との間に、GaAs障壁層（バリア層）が歪補償構造となって形成されており、歪みの低減効果により、素子の信頼性が向上した。

【0058】

上述の例では、MOCVD法での成長の例を示したが、MBE法等の他の成長方法を用いることもできる。また、窒素の原料にDMHyを用いたが、活性化した窒素やNH₃等の他の窒素化合物を用いることもできる。また、積層構造として単一量子井戸構造（SQW）の例を示したが、多重量子井戸構造を用いること

もできる。また、各層の組成厚さ等は必要に応じて設定できる。また、クラッド層には、 AlGaAs 系材料と同様にワイドギャップの AlGaInP 系材料を用いることもできる。また、レーザの構造も他の構造にしてもかまわない。

【0059】

(第2の実施例)

図3は本発明の第2の実施例の GaInNAs 端面発光型半導体レーザを示す図である。この第2の実施例の第1の実施例との違いは、活性層(井戸層)は1層とし、その上下に形成した引張り歪みを有する障壁層を GaNPAs (障壁層のN組成は0.3%、P組成は7%)とした点である。

【0060】

この第2の実施例の素子では、伝導帯バンド不連続は GaAs 障壁層の場合と同程度であった。障壁層の引張り歪み量は0.3%であった。障壁層のN組成は小さいがPを添加しているので十分な引張り歪み組成を得ることができ、歪みの低減効果により素子の信頼性が向上した。また、障壁層のN組成を量子井戸活性層よりも小さくしているので、N添加による伝導帯エネルギーの低下は量子井戸活性層の伝導帯エネルギーの方が障壁層よりも大きくなり、更に障壁層はP添加により伝導帯低下を補償しているので、充分大きな伝導帯バンド不連続を得ることができ、単一量子井戸構造であるが、温度特性の良好な半導体レーザを得ることができた。

【0061】

(第3の実施例)

図4は本発明の第3の実施例の GaInNAs 面発光型半導体レーザ素子を示す図である。図4に示すように、この第3の実施例における面発光型半導体レーザ素子(面発光レーザ)は、3インチの大きさの面方位(100)の $n\text{-GaAs}$ 基板上に、それぞれの媒質内における発振波長の $1/4$ 倍の厚さで $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.9$)と $n\text{-GaAs}$ を交互に35周期積層した周期構造からなる n -半導体分布ブラッグ反射鏡(下部半導体分布ブラッグ反射鏡：単に下部反射鏡ともいう)が形成されている。

【0062】

そして、その上に、アンドープ下部GaAsスペーサ層、4層のGaInNAs井戸層と5層のGaNPAs障壁層からなる多重量子井戸活性層、アンドープ上部GaAsスペーサ層が形成されている。

【0063】

そして、その上に、p-半導体分布ブラッグ反射鏡（上部半導体分布ブラッグ反射鏡：単に上部反射鏡ともいう）が形成されている。上部反射鏡は、Cドープの $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ （ $x=0.9$ ）と $p\text{-GaAs}$ をそれぞれの媒質内における発振波長の $1/4$ 倍の厚さで交互に積層した周期構造（例えば、25周期）で構成されている。なお、上部反射鏡中の活性層に近い位置には、AlAsからなる被選択酸化層が例えば30nmの厚さで設けられている。また、上部反射鏡の最上部のGaAs層は、電極とのコンタクトを取るコンタクト層を兼ねている。

【0064】

この第3の実施例では、活性層内の井戸層のIn組成 x は33%，窒素組成は1.0%とした。また、井戸層は、厚さが7nmであり、GaAs基板に対して約2.1%の圧縮歪（高歪）を有していた。また、GaNPAs障壁層は、N組成0.8%，P組成4%、厚さは20nmとし、GaAs基板に対して0.3%の引張り歪みを有している。

【0065】

成長方法はMOCVD法で行なった。キャリアガスには、 H_2 を用いた。また、GaInNAs活性層の原料には、TMG（トリメチルガリウム），TMI（トリメチルインジウム）， AsH_3 （アルシン）を用い、そして窒素の原料には、DMHy（ジメチルヒドラジン）を用いた。DMHyは低温で分解するので、600℃以下のような低温成長に適しており、特に低温成長の必要な歪みの大きい量子井戸層を成長する場合好ましい原料である。この第3の実施例のGaInNAs面発光型半導体レーザ素子の活性層のように歪が大きい場合は、非平衡となる低温成長が好ましい。この第3の実施例では、GaInNAs層は540℃で成長させた。

【0066】

この第3の実施例では、所定の大きさのメサを少なくとも $p\text{-AlAs}$ 被選択酸化層の側面を露出させて形成し、側面の現れた AlAs を水蒸気で側面から酸化して Al_xO_y 電流狭さく部を形成した。そして、次にポリイミドでエッチング部を埋め込んで平坦化し、 p コンタクト部と光出射部のある上部反射鏡上のポリイミドを除去し、 p コンタクト層上の光出射部以外に p 側電極を形成し、また、基板の裏面に n 側電極を形成した。

【0067】

作製した面発光型半導体レーザ素子の発振波長は約 $1.3\ \mu\text{m}$ であった。 GaInNAs を活性層に用いたので、 GaAs 基板上に長波長帯の面発光型半導体レーザ素子を形成できた。

【0068】

また、障壁層の N 組成を量子井戸活性層よりも小さくしているので、 N 添加による伝導帯エネルギーの低下は量子井戸活性層の伝導帯エネルギーの方が障壁層よりも大きくなり、これによって、充分大きな伝導帯バンド不連続を得ることができ、温度特性の良好な面発光レーザを得ることができた。

【0069】

また、障壁層の N 組成は小さいが、 P を添加しているので、充分な引張り歪み組成を得ることができ、大きな圧縮歪みを有した活性層を用いていても、結晶欠陥が発生することなく井戸数を増やすことができ、高出力が得られ、また、歪みの低減効果により素子の信頼性が向上した。

【0070】

また、障壁層として GaAs に P のみ添加した GaPAs を用いると、 GaAs を用いた場合に比べて伝導帯バンド不連続は大きくなり、電子閉じ込めは良好になるが、量子準位が上がるので、同じ発振波長を得るための井戸層の N 組成が大きくなってしまい、井戸層の結晶品質が低下してしまう。文献「Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39 (2000) pp. 3403-3405」では、 GaAs 障壁層で200Kを越える温度特性が得られており、伝導帯バンド不連続をこれ以上大きくしなくとも充分であるので、井戸層の結晶性を悪化させないために GaPAs に N を添加して伝導帯バンド不連続を適正化した GaN P

A s が障壁層として好ましい。

【0071】

また、エピタキシャル成長では、下地の結晶品質が成長層の成長品質に及ぼす影響は大きい。障壁層のN組成が量子井戸活性層のN組成よりも小さい場合、量子井戸活性層成長時の下地層となる障壁層の結晶性が向上することになり、量子井戸活性層の結晶性が向上し、発光効率が高く、低しきい値電流で動作した。

【0072】

また、A l と A s を主成分とした被選択酸化層の選択酸化により電流狭さくを行っただので、しきい値電流は低かった。被選択酸化層を選択酸化したA l 酸化膜からなる電流狭さく層を用いた電流狭さく構造によると、電流狭さく層を活性層に近づけて形成することで電流の広がりを抑えられ、大気に触れない微小領域に効率良くキャリアを閉じ込めることができる。さらに酸化してA l 酸化膜となることで屈折率が小さくなり凸レンズの効果でキャリアの閉じ込められた微小領域に効率良く光を閉じ込めることができ、極めて効率が良くなり、しきい値電流は低減される。また、容易に電流狭さく構造を形成できることから、製造コストを低減できる。

【0073】

G a I n N A s 等の窒素と他のV族を含んだ半導体層の作製にはM B E 法が主に用いられていたが、原理的に高真空中での成長なので原料供給量を大きくできない。すなわち、原料供給量を大きくすると、排気系に負担がかかるというデメリットがある。高真空排気系の排気ポンプを必要とするが、M B E チャンバー内の残留原料等を除去するなどのために排気系に負担がかかり故障しやすいことからスループットは悪い。

【0074】

面発光型半導体レーザ素子は、レーザ光を発生する少なくとも1層の活性層を含んだ活性領域を半導体多層膜反射鏡で挟んで構成されている。端面発光型レーザの結晶成長層の厚さが $3\mu\text{m}$ 程度であるのに対して、例えば $1.3\mu\text{m}$ 波長帯の面発光型半導体レーザ素子では、結晶成長層の厚さとして $10\mu\text{m}$ を超える厚さが必要になるが、M B E 法では高真空を必要とすることから原料供給量を高く

することができず、成長速度は $1\ \mu\text{m}/\text{時}$ 程度であり、 $10\ \mu\text{m}$ の厚さを成長するには原料供給量を変えるための成長中断時間を設けないとしても最低 10 時間かかる。

【0075】

活性領域の厚さは全体に比べて通常ごくわずかであり（10%以下）、ほとんどが多層膜反射鏡を構成する層である。半導体多層膜反射鏡はそれぞれの媒質内における発振波長の $1/4$ 倍の厚さ（ $\lambda/4$ の厚さ）で低屈折率層と高屈折率層を交互に積層して（例えば 20～40 ペア）形成されている。GaAs 基板上の面発光型半導体レーザ素子では、AlGaAs 系材料を用い Al 組成を変えて低屈折率層（Al 組成大）と高屈折率層（Al 組成小）としている。しかし実際には、特に p 側は各層のヘテロ障壁により抵抗が大きくなるので、低屈折率層と高屈折率層との間に、Al 組成が両者の間となる中間層を挿入して多層膜反射鏡の抵抗を低減している。

【0076】

このように、面発光型半導体レーザ素子は、100 層を超える組成の異なる半導体層を成長しなければならない他に、多層膜反射鏡の低屈折率層と高屈折率層との間にも中間層を設けるなど、瞬時に原料供給量を制御する必要がある素子である。しかし、MBE 法では、原料供給量を原料セルの温度を変えて制御しており、臨機応変に組成をコントロールすることができない。よって、MBE 法により成長した半導体多層膜反射鏡は、抵抗を低くするのは困難であり動作電圧が高い。

【0077】

一方、MOCVD 法は、原料ガス流量を制御するだけで良く、瞬時に組成をコントロールできるとともに、MBE 法のような高真空を必要とせず、また成長速度を例えば $3\ \mu\text{m}/\text{時}$ 以上と高くでき、容易にスループットを上げられることから、極めて量産に適した成長方法である。

【0078】

なお、この第 3 の実施例では、障壁層として、GaNPA s を用いたが、GaAs よりも格子定数が小さい GaNA s, GaNPA s, GaInNA s, Ga

InNPAs, GaNA s Sb, GaNPAs Sb, GaInNA s Sb, GaInNPAs Sbのいずれかであって、障壁層のN組成が井戸層のN組成よりも小さい値であれば用いることができる。

【0079】

このように、この第3の実施例によれば、低抵抗、低消費電力で低コストの1.3 μ m帯の面発光型半導体レーザ素子を実現できる。

【0080】

(第4の実施例)

図5は本発明の第4の実施例の面発光レーザアレイを示す図(上面図)である。この第4の実施例の面発光レーザアレイは、第3の実施例の面発光レーザが10素子、1次元に並んだものとなっている。これは、2次元に集積させてもかまわない。ただし、第4の実施例の面発光レーザアレイは、第2の実施例と導電型p, nが逆になっている。すなわち、第4の実施例の面発光レーザアレイでは、上面にn側個別電極が形成され、基板裏面にp側共通電極が形成されている。これはアノードコモンとして高速動作が可能なバイポーラトランジスタ駆動回路を用いることができるので、複数の素子により同時に多くのデータを伝送することができるからである。これにより、同時に多くのデータを伝送する並列伝送が可能となる。

【0081】

(第5の実施例)

図6は本発明の第5の実施例の光送信モジュールを示す図であり、第5の実施例の光送信モジュールは、第4の実施例の面発光レーザアレイチップとシリカファイバーとを組み合わせたものとなっている。この第5の実施例では、面発光レーザアレイチップからのレーザ光が光ファイバーに入力され伝送される。ここで、光ファイバーには、シングルモードファイバーを用いている。同時に多くのデータを伝送するために、複数の半導体レーザが集積したレーザアレイを用いた並列伝送が試みられている。この第5の実施例では、シングルモード高出力面発光レーザを用いているので、高速な並列伝送が可能となり、従来よりも多くのデータを同時に伝送できるようになった。

【0082】

さらに、本発明による面発光型半導体レーザ素子を光通信システムに用いると、低コストで信頼性が高い光送信モジュールを実現できる他に、これを用いた低コスト、高信頼性の光通信システムを実現できる。また、GaInNAsを用いた面発光型半導体レーザ素子は、温度特性が良いこと、及び、低しきい値であることにより、発熱が少なく高温まで冷却なしで使えるシステムを実現できる。

【0083】

この第5の実施例では、面発光型半導体レーザ素子と光ファイバーとを1対1に対応させたが、発振波長の異なる複数の面発光型半導体レーザ素子を1次元または2次元にアレイ状に配置して、波長多重送信することにより、伝送速度を更に増大することが可能となる。

【0084】

(第6の実施例)

図7は本発明の第6の実施例の光送受信モジュールを示す図であり、この第6の実施例の光送受信モジュールは、第3の実施例の面発光型半導体レーザ素子と、受信用フォトダイオードと、光ファイバーとを組み合わせたものとなっている。

【0085】

本発明による面発光型半導体レーザ素子を光通信システムに用いる場合、面発光型半導体レーザ素子は低コストであるので、図7に示すように、送信用の面発光型半導体レーザ素子(1.3 μ m帯GaInNAs面発光型半導体レーザ素子)と、受信用フォトダイオードと、光ファイバーとを組み合わせた低コスト、高信頼性の光通信システムを実現できる。また、本発明に係るGaInNAsを用いた面発光型半導体レーザ素子は、温度特性が良いこと、動作電圧が低いこと、及び、低しきい値であることにより、発熱が少なく、高温まで冷却なしで使えるより低コストのシステムを実現できる。

【0086】

さらに、1.3 μ m等の長波長帯で低損失となるフッ素添加POF(プラスチックファイバ)とGaInNAsを活性層に用いた面発光型半導体レーザとを組

み合わせると、ファイバが低コストであること、ファイバの径が大きくてファイバとのカップリングが容易で実装コストを低減できることから、極めて低コストのモジュールを実現できる。

【0087】

本発明の面発光型半導体レーザ素子を用いた光通信システムとしては、光ファイバーを用いた長距離通信に用いることができるのみならず、LAN (Local Area Network) などのコンピュータ等の機器間伝送、さらには、ボード間のデータ伝送、ボード内のLSI間、LSI内の素子間等、光インターコネクションとして短距離通信に用いることができる。

【0088】

近年LSI等の処理性能は向上しているが、これらを接続する部分の伝送速度が今後ボトルネックとなる。システム内の信号接続を従来の電気接続から光インターコネクトに変えると（例えばコンピュータシステムのボード間、ボード内のLSI間、LSI内の素子間等を本発明に係る光送信モジュールや光送受信モジュールを用いて接続すると）、超高速コンピュータシステムが可能となる。

【0089】

また、複数のコンピュータシステム等を本発明に係る光送信モジュールや光送受信モジュールを用いて接続すると、超高速ネットワークシステムが構築できる。特に面発光型半導体レーザ素子は端面発光型レーザに比べて桁違いに低消費電力化でき、2次元アレイ化が容易なので、並列伝送型の光通信システムに適している。

【0090】

以上説明したように、窒素を含んだ半導体層であるGaInNAs系材料によると、GaAs基板を用いた $0.85\mu\text{m}$ 帯面発光型半導体レーザ素子などで実績のあるAl(Ga)As / (Al)GaAs系半導体多層膜分布ブラッグ反射鏡や、AlAsの選択酸化による電流狭さく構造が適用でき、また本発明を採用することにより、実用レベルの高性能の $1.3\mu\text{m}$ 帯等の長波長帯面発光型半導体レーザ素子を実現でき、さらにこれらの素子を用いると、冷却素子不要で低コストの光ファイバー通信システム、光インターコネクションシステムなどの光通

信システムを実現することができる。

【0091】

【発明の効果】

以上に説明したように、請求項1乃至請求項4記載の発明によれば、GaAs基板に対して圧縮歪を持つ窒素（N）と他のV族元素を同時に含んだ量子井戸活性層とその周囲に形成された障壁層とからなる活性層を有する半導体発光素子において、前記障壁層は、量子井戸活性層と同様に窒素（N）と他のV族元素を同時に含んでいるが、N組成が量子井戸活性層よりも小さいIII-V族混晶半導体で形成されているので、障壁層にNを添加した効果を有したまま、以下の効果を得られる。つまり、障壁層のN組成を量子井戸活性層のN組成より小さくしたので、N添加による伝導帯の低下は量子井戸活性層の方が大きく、充分大きな伝導帯バンド不連続を得ることができ、温度特性の良好な半導体レーザを得ることができる。

【0092】

また、エピタキシャル成長では下地の結晶品質が成長層の成長品質に及ぼす影響は大きい。障壁層のN組成が量子井戸活性層のN組成よりも小さい場合、量子井戸活性層成長時の下地層となる障壁層の結晶性が向上する。よって、量子井戸活性層の結晶性が向上し、発光効率を向上させることができる。

【0093】

特に、請求項2記載の発明では、請求項1記載の半導体発光素子において、前記障壁層は、Nと他のV族元素と同時に、燐（P）も含むので、引張り歪みを調整できるようになる。すなわち、GaAsに対して引張り歪みを有する材料としては、GaAsに対して少なくともNまたはPの一方を添加する材料が挙げられる。請求項1では、障壁層のN組成を井戸層より小さくしているので、障壁層の引張り歪み量には制限が生じる。これに対し、請求項2のようにPを添加することで、引張り歪みを調整できるようになる。よって、歪補償構造の最適化ができるので、井戸数の数を増加できるようになり、デバイス設計の自由度が高くなる。更には信頼性の改善が得られるようになる。

【0094】

更に、P 添加は伝導帯エネルギーを高くする効果があり、N 添加で低下した伝導帯エネルギーを補償して井戸層との伝導帯バンド不連続を極めて充分なものとし、電子の閉じ込めを良好にすることができるので、極めて温度特性の良好な半導体レーザを得ることができる。

【 0 0 9 5 】

また、請求項 4 記載の発明は、請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項に記載の半導体発光素子において、半導体発光素子は面発光型半導体レーザ素子であり、面発光型半導体レーザは端面発光型半導体レーザに比べて、低価格化，低消費電力化，小型化，2 次元集積化に向く。ここで、GaInNAs 系材料を活性層にしているので、シリカファイバーの伝送ロスが小さく整合性が良い $1.3\ \mu\text{m}$ 帯， $1.55\ \mu\text{m}$ 帯の波長に対応できる。また、面発光型半導体レーザは、端面発光型レーザと比べて共振器長が極端に短く、利得領域が小さいので、大きな活性層利得を必要とする。素子の特性を良好にするためには量子井戸活性層の数を複数にして利得を増加させる必要がある。本発明のように伝導帯や価電子帯のバンド不連続を制御した歪補償層を設けたので、井戸層を多重化することが可能となり低しきい値電流動作し、高出力であり、温度特性が良い面発光型半導体レーザを実現できる。なお、MOCVD 法で形成すると、面発光レーザ型半導体の半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗を低減できるので、低電圧駆動が可能となり、好ましい。これにより、安価で、距離を気にしないで、光ネットワーク，光配線の大容量化を図ることができる。

【 0 0 9 6 】

また、請求項 5 記載の発明によれば、請求項 4 記載の面発光型半導体レーザ素子を光源として用いた光送信モジュールであるので、冷却素子が不要な低コストな光送信モジュールを実現することができる。

【 0 0 9 7 】

また、請求項 6 記載の発明によれば、請求項 4 記載の面発光型半導体レーザ素子を光源として用いた光送受信モジュールであるので、冷却素子が不要な低コストな光送受信モジュールを実現することができる。

【 0 0 9 8 】

また、請求項 7 記載の発明によれば、請求項 4 記載の面発光型半導体レーザ素子を光源として用いた光通信システムであるので、冷却素子が不要な低コストな光ファイバー通信システム、光インターコネクションシステムなどの光通信システムを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本願の発明者が実験的に求めたしきい値電流密度の窒素組成依存性を示す図である。

【図 2】

第 1 の実施例の半導体発光素子を示す図である。

【図 3】

第 2 の実施例の半導体発光素子を示す図である。

【図 4】

第 3 の実施例の半導体発光素子を示す図である。

【図 5】

第 4 の実施例の面発光レーザアレイを示す図である。

【図 6】

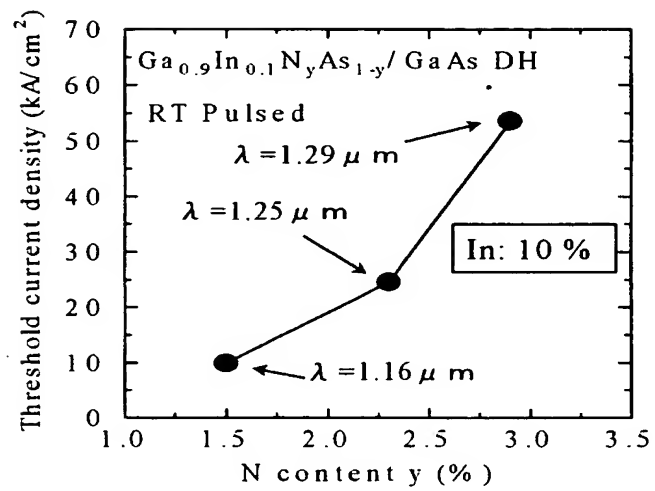
第 5 の実施例の光送信モジュールを示す図である。

【図 7】

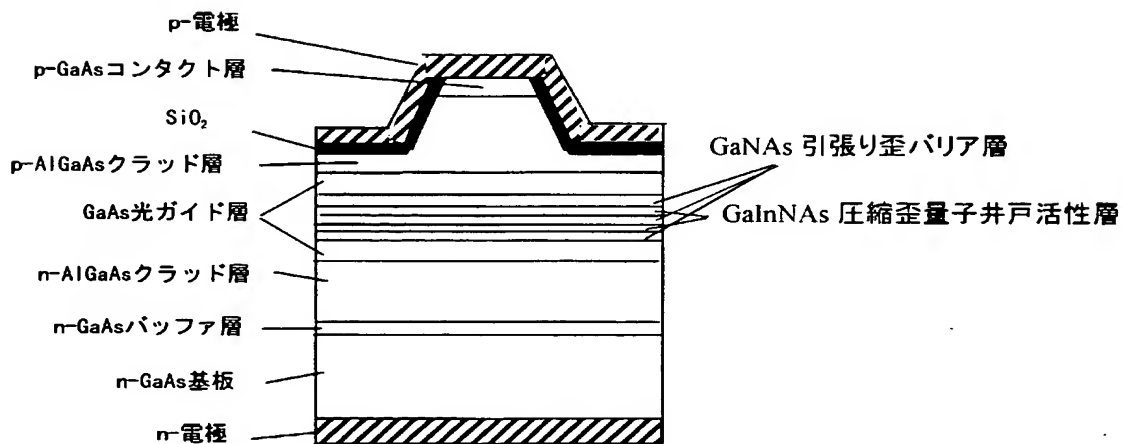
第 6 の実施例の光送受信モジュールを示す図である。

【書類名】 図面

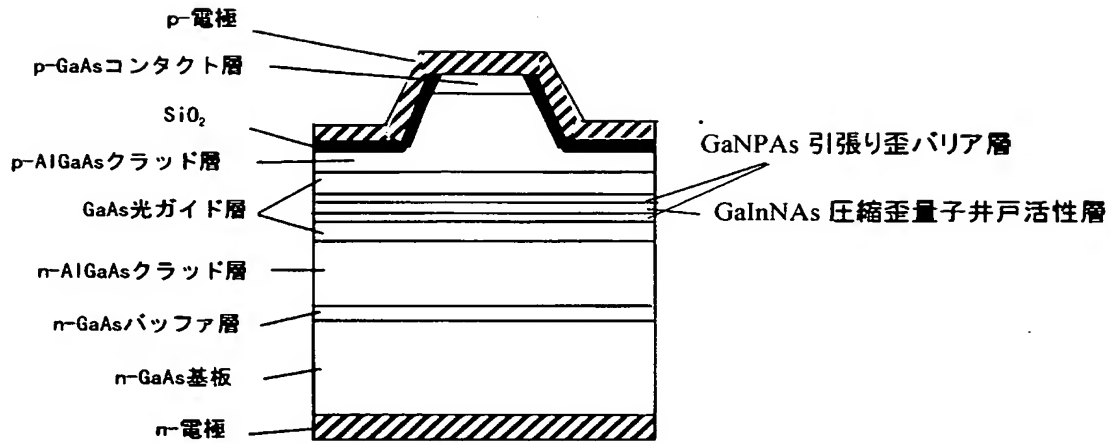
【図 1】



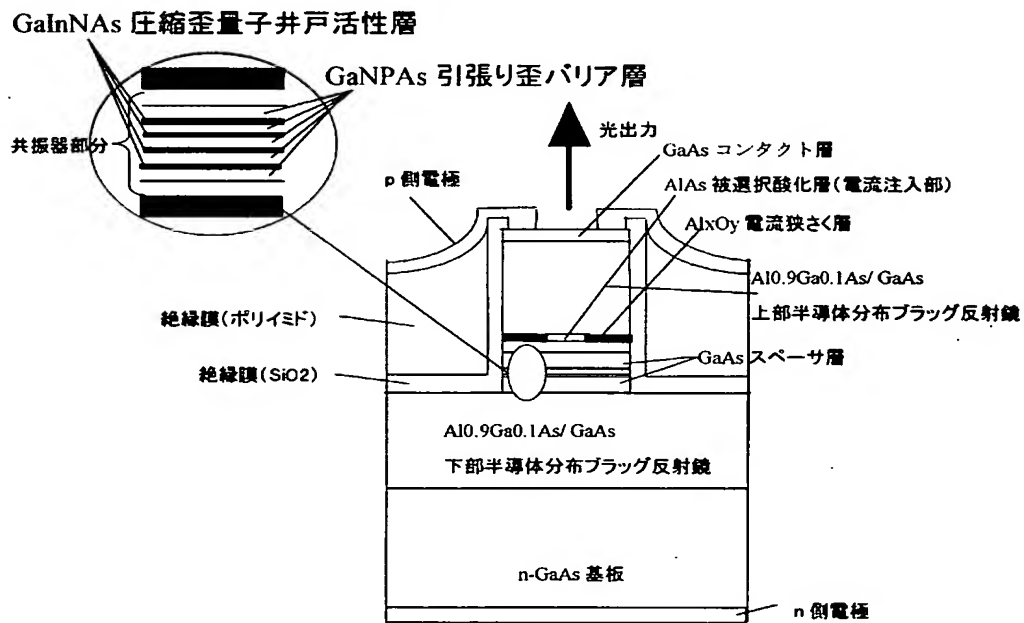
【図 2】



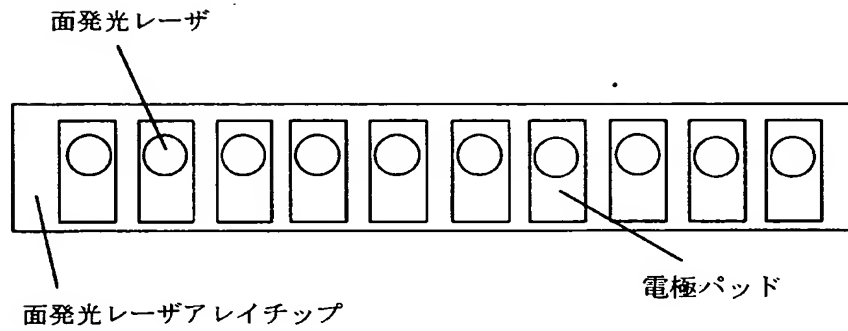
【図 3】



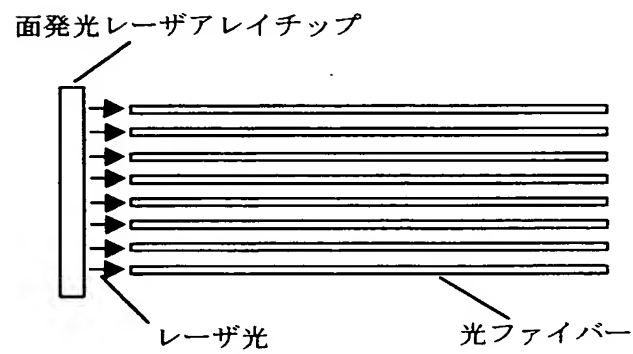
【図 4】



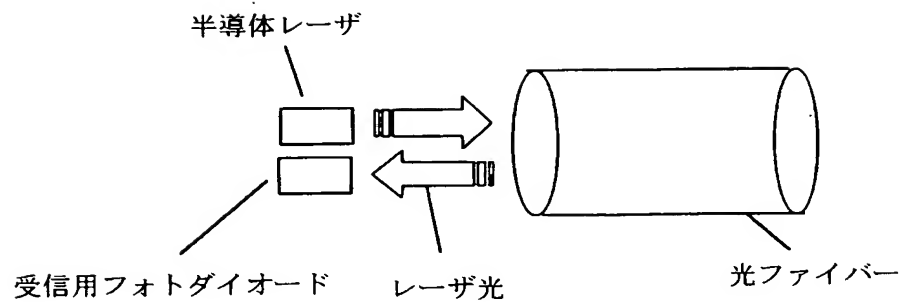
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 GaInNAs系量子井戸活性層を用いた半導体発光素子において、温度特性が良く低しきい値である半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 GaAs基板に対して圧縮歪を持つ窒素（N）と他のV族元素を同時に含んだ量子井戸活性層とその周囲に形成された障壁層（バリア層）とからなる活性層を有する半導体発光素子において、前記障壁層は、量子井戸活性層と同様に窒素（N）と他のV族元素を同時に含んでいるが、N組成が量子井戸活性層よりも小さいIII-V族混晶半導体で形成されていることを特徴としている。

【選択図】 図2

特願 2 0 0 2 - 3 5 2 7 9 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 6 7 4 7]

1. 変更年月日

2 0 0 2 年 5 月 1 7 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

氏 名

株式会社リコー